

# Visão e Fotometria

## Conceitos básicos

Giovanni Manassero Junior

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
Escola Politécnica da USP

14 de março de 2013

# Radiação eletromagnética

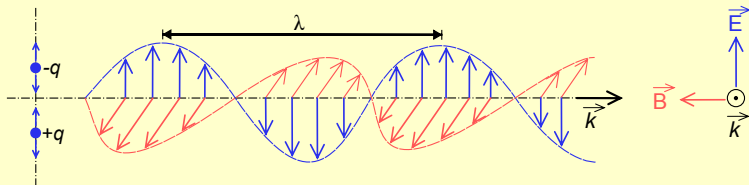
## Introdução

- Radiação eletromagnética é uma forma de energia, que pode ser emitida e/ou absorvida por partículas carregadas;
- Exibe comportamento oscilatório e viaja através do espaço a uma velocidade característica e constante. No vácuo, a radiação eletromagnética se propaga à velocidade da luz;
- Caracteriza-se por possuir as componentes de campo elétrico e magnético, que oscilam perpendicularmente entre si, ambos perpendiculares à direção de propagação da energia.

# Radiação eletromagnética

## Ondas eletromagnéticas

- As curvas a seguir ilustram a relação entre os campos elétrico e magnético, produzidos por cargas elétricas em movimento:



- A equação de propagação no vácuo é dada por:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

# Radiação eletromagnética

## Ondas eletromagnéticas

- Onde:

$\lambda$  Comprimento de onda [ $m$ ];

$f$  Frequência de radiação [ $Hz$ ];

$c = 3 \times 10^8$  Velocidade de propagação no vácuo [ $m/s$ ].

# Luz visível

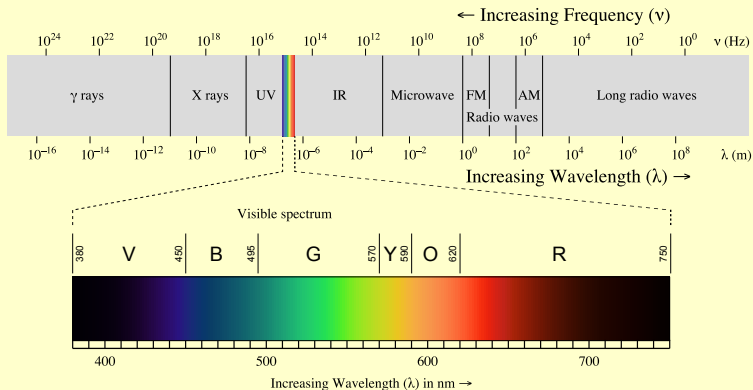
## Definições

- Luz visível é a parcela da radiação eletromagnética que é visível pelo olho humano e é responsável pelo sentido da visão;
- Seu comprimento de onda varia de cerca de 380 [nm] a cerca de 740 [nm];
- Esses comprimentos de onda situam-se entre o infravermelho invisível, que possui comprimentos de onda mais longos, e o ultravioleta invisível, que possui comprimentos de onda mais curtos.

# Luz visível

## Detalhes do espectro de cores

- A figura ilustra a relação entre o espectro de cores e o comprimento de onda da luz visível:



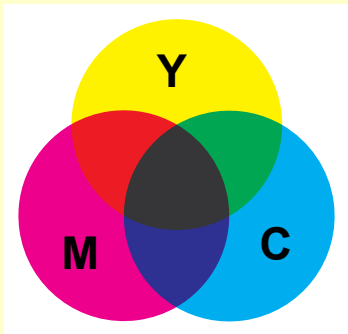
# Luz visível

## Síntese de cores

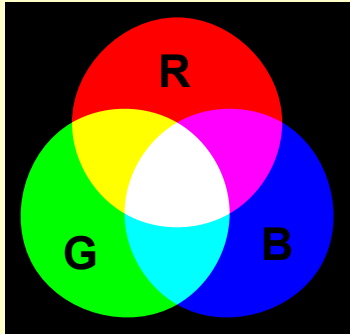
- Os sistemas de cores são tentativas de organizar informações sobre a percepção cromática humana. Pode-se tipificá-los como:
- Sistemas de Síntese aditiva: a cor é percebida diretamente a partir da fonte luminosa;
- Sistemas de síntese subtrativa: a cor é percebida a partir do reflexo da luz sobre uma superfície.

# Síntese de cores

## Aditiva e subtrativa



Síntese Subtrativa



Síntese Aditiva



# O olho humano

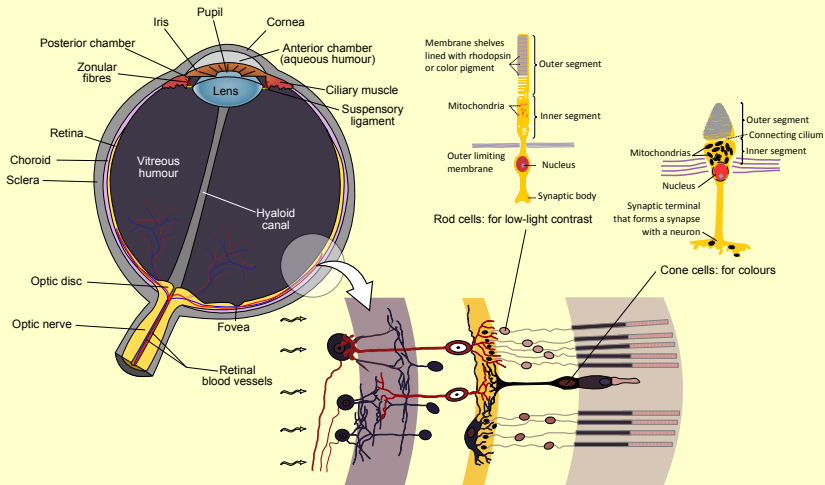
## Introdução

- O olho humano é um órgão que reage à luz e permite a visão, incluindo diferenciação de cores e percepção de profundidade;
- Possui dois tipos de células que são essencialmente responsáveis pela visão, os cones e os bastonetes;
- Os cones são responsáveis pela percepção de cor e os bastonetes são responsáveis pelo contraste das imagens. O olho humano pode distinguir cerca de 10 milhões de cores;
- O olho possui uma estrutura capaz de regular a quantidade de luz incidente. Essa estrutura é denominada íris.

Detalhes

# O olho humano

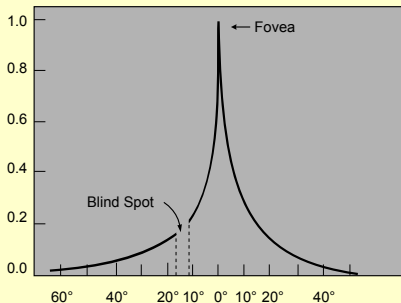
## Detalhes



# O olho humano

## Acuidade visual da retina

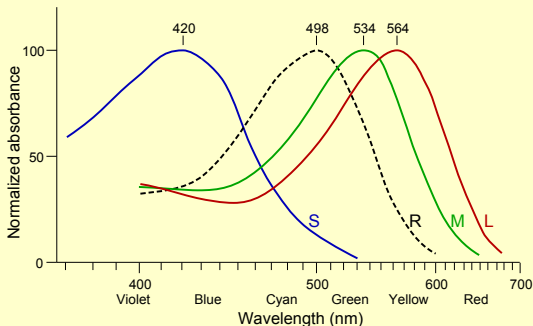
- O sistema foveal do olho humano é a única parte da retina que permite 100% de acuidade visual;
- A linha de visão é a linha virtual que liga a fóvea com o ponto de observação no mundo exterior.



# O olho humano

## Curva de sensibilidade dos cones

- Há três tipos distintos de cones, que reagem de forma diferente à radiações com diferentes comprimentos de onda;
- A figura a seguir ilustra esse comportamento (S – short; M – middle; L – Long; R – Rod cell).



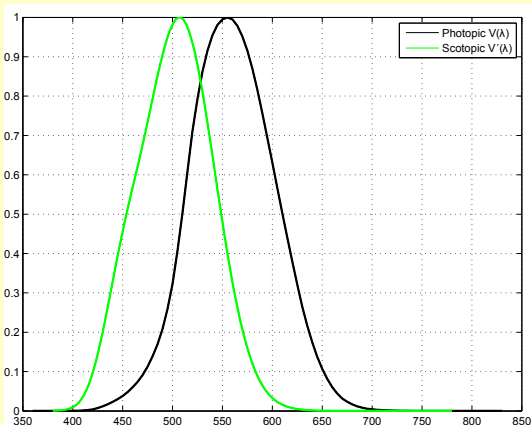
# O olho humano

## Curva de sensibilidade do olho humano

- O estudo de percepção de cores, conduzido pelo CIE – *Commission Internationale de l'Éclairage* resultou na curva de sensibilidade de um observador padrão;
- O observador padrão é a resposta cromática da visão humana média, através de um determinado ângulo (inicialmente esse ângulo foi definido como  $2^\circ$  da zona foveal);
- Em 1924 o CIE estabeleceu a curva fotóptica, correspondente à visão diurna, do observador padrão;
- Em 1951 o CIE estabeleceu a curva escotóptica, correspondente à visão noturna, do observador padrão.

# O olho humano

## Curva de sensibilidade do olho humano



# Fotometria

## Energia radiante

- Energia radiante é a energia da radiação eletromagnética e pode ser obtida a partir da energia irradiada em função do comprimento de onda. Sua unidade é o [J].

$$Q_E = \int_0^{\infty} J_E(\lambda) d\lambda \quad \text{e} \quad J_E(\lambda) = \int_0^t \phi_E(\lambda) dt \quad [\text{J}]$$

- Onde:

$J_E(\lambda)$  Energia irradiada em função de  $\lambda$  [J/nm];

$\phi_E(\lambda)$  Fluxo radiante em função de  $\lambda$  [W/nm].

# Fotometria

## Energia luminosa

- Energia luminosa é a parcela da energia da radiação eletromagnética, que é visível;
- Pode ser obtida a partir da energia luminosa irradiada em função do comprimento de onda;
- No entanto, deve-se considerar que o olho humano possui diferentes sensibilidades para cada comprimento de onda e, portanto, a determinação da energia luminosa é dada por:

$$Q = \int_{380}^{760} J_E(\lambda) \cdot K(\lambda) d\lambda \quad [\text{J}]$$

- Onde:

$K(\lambda)$  Fator relacionado à visão humana.



# Fotometria

## Fluxo radiante e fluxo luminoso

- Fluxo radiante ou luminoso é a medida da potência total da radiação eletromagnética total, ou apenas visível, emitida a partir de uma fonte ou incidente em uma determinada superfície;
- Tanto o fluxo radiante como o fluxo luminoso podem ser obtidos a partir da energia radiante e da energia luminosa, respectivamente.
- O fluxo radiante é dado por:

$$\Phi_E = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q_E}{\Delta t} \quad [\text{W}]$$

- O fluxo luminoso é dado por

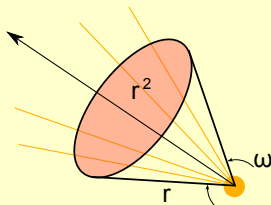
$$\Phi = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad [\text{lúmens}] = [\text{lm}]$$

# Fotometria

## Intensidade luminosa de fonte puntiforme

- Intensidade luminosa é uma medida do fluxo luminoso emitido por uma fonte numa direção particular, por unidade de ângulo sólido (esferorradiano ou esterradiano);
- A intensidade luminosa é dada por:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega} \quad [\text{candelas}] = \left[ \frac{\text{lm}}{\text{sfr}} \right]$$



# Fotometria

## Densidade superficial de fluxo

- Iluminância, ou Nível de Iluminamento, é a medida de fluxo luminoso total incidente sobre uma superfície, por unidade de área dessa superfície;
- A iluminância é dada por:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \quad [\text{lux}] = \left[ \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right]$$

